

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-214415

(43)Date of publication of application : 04.08.2000

(51)Int.Cl.

G02B 27/46

G02B 5/30

H04N 5/225

(21)Application number : 11-018596

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 27.01.1999

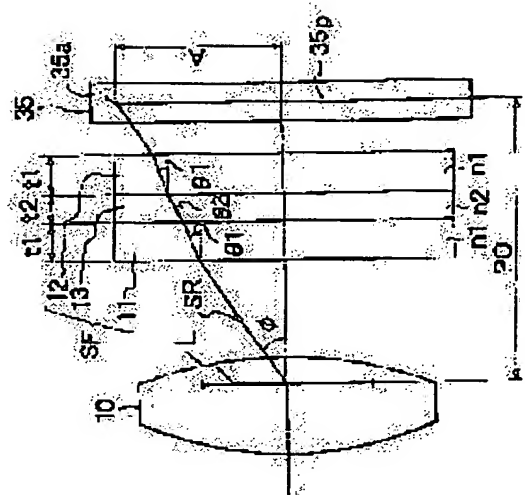
(72)Inventor : OSAWA KEIJI

## (54) OPTICAL SPATIAL FREQUENCY FILTER

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce the focus displacement amount on the diagonal of a screen and to restrain the image quality from being deteriorated at the peripheral part of the screen by selecting the combination of the refractive index and the thickness of a double refraction plate to satisfy a specified condition when the refractive index and the thickness of two double refraction plates used for a spatial frequency filter are the same.

**SOLUTION:** This filter is provided with a 1st double refraction plate 11 for separating incident light into two light beams spatially divided in a 1st direction and a 2nd double refraction plate 12 for separating the two light beams emitted from a phase difference plate 13 into the two light beams spatially divided in a 2nd direction different from the 1st direction. A material having the combination of the refractive index  $n1$  and the thickness  $t1$  satisfying a specified conditional expression in accordance with the pixel pitch of an imaging device 35, a distance between the exit pupil position of a photographing lens 10 and the image pickup surface 35p of the device 35 and the image area size of the device 35 is used as the material of the plates 11 and 12 constituting the spatial frequency filter SF.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-214415

(P2000-214415A)

(43) 公開日 平成12年8月4日(2000.8.4)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 2 B 27/46		G 0 2 B 27/46	2 H 0 4 9
5/30		5/30	5 C 0 2 2
H 0 4 N 5/225		H 0 4 N 5/225	D

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平11-18596

(22) 出願日 平成11年1月27日(1999.1.27)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 大沢 圭司

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人 100084412

弁理士 永井 冬紀

Fターム(参考) 2H049 BA05 BA06 BA07 BA42 BB03

BC22

5C022 AA13 AC42 AC54 AC55

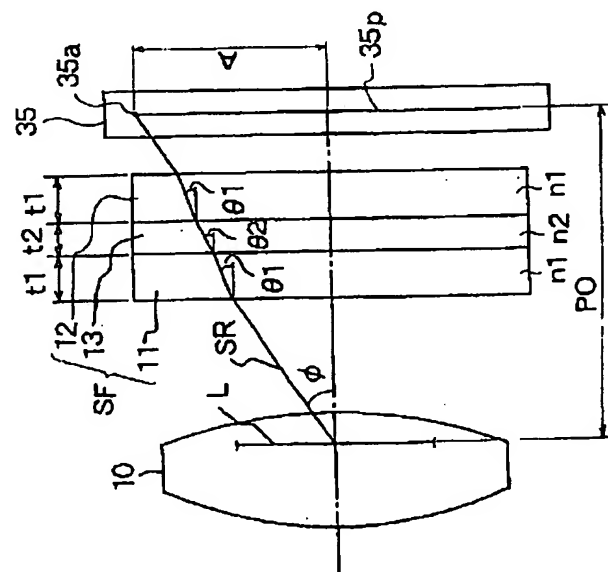
(54) 【発明の名称】 光学的空間周波数フィルタ

(57) 【要約】

【課題】 画面周辺部で生じる焦点ずれによる画質の低下を抑制する。

【解決手段】 空間周波数フィルタ S F を構成する複屈折板 1 1 および 1 2 の材料として、撮像素子 3 5 の画素ピッチ、撮影レンズ 1 0 の射出瞳位置と撮像素子 3 5 の撮像面 3 5 p との距離および撮像素子 3 5 のイメージエリアサイズ等に応じて所定の条件式を満たす屈折率  $n_1$  と厚み  $t_1$  の組み合わせを有するものを用いる。

【図 1】



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】入射光を第 1 の方向に沿って空間的に分割された二つの光に分離するための第 1 複屈折板と、前記第 1 複屈折板から射出される前記二つの光のそれぞれのうち、一の振動方向に振動する成分の光と、前記一の振動方向に対して直交する他の振動方向に振動する成分の光との間に特定の量の位相差を生じせしめる位相差板と、

前記位相差板から射出される前記二つの光のそれぞれを前記第 1 の方向と異なる第 2 の方向に沿って空間的に分割された二つの光に分離するための第 2 複屈折板とを有し、撮影レンズと撮像素子との間の光路中に配設される \*

【数 1】

$$t_1 \leq C \times \frac{n_1}{Y(n_1)} \quad \dots \text{式 (1)}$$

ここに、

$$Y(n_1) = 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_1} \quad \dots \text{式 (2)}$$

$$C = \frac{1}{2} \times \left\{ K \times B \times d \times F n o - \left( 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_2} \right) \times \frac{t_2}{n_2} \right\} \quad \dots \text{式 (3)}$$

$$\sin \theta_1 = \frac{\sin \phi}{n_1} \quad \dots \text{式 (4)}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \phi}{n_1} \right) \quad \dots \text{式 (5)}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left( \frac{n_1 \times \sin \phi}{n_2} \right) \quad \dots \text{式 (6)}$$

$$0.25 \leq K \leq 0.35 \quad \dots \text{式 (7)}$$

$$1 \leq B \leq 3 \quad \dots \text{式 (8)}$$

t<sub>1</sub> : 第 1 複屈折板および第 2 複屈折板の厚みn<sub>1</sub> : 第 1 複屈折板および第 2 複屈折板の屈折率t<sub>2</sub> : 位相差板の厚みn<sub>2</sub> : 位相差板の屈折率

d : 撮像素子の画素ピッチ

φ : 撮影レンズの射出瞳の中心から撮像素子の撮像面对角へ入射する

光線の第 i 複屈折板への入射角

Fno : 撮影レンズの F 値

【請求項 2】入射光を第 1 の方向に沿って空間的に分割された二つの光に分離するための第 1 複屈折板と、前記第 1 複屈折板から射出される前記二つの光のそれぞれのうち、一の振動方向に振動する成分の光と、前記一の振動方向に対して直交する他の振動方向に振動する成分の光との間に特定の量の位相差を生じせしめる位相差板と、

\* 光学的空間周波数フィルタにおいて、

前記第 1 複屈折板および前記第 2 複屈折板は略同一の厚さおよび屈折率を有し、

前記撮影レンズに近い側から順に前記第 1 複屈折板、前記位相差板および前記第 2 複屈折板が配列され、画面对角の像高を A、撮像面から撮影レンズの射出瞳までの空気換算長を PO としたとき、A/PO ≥ 0.15 において前記第 1 複屈折板および前記第 2 複屈折板の厚み t<sub>1</sub> および屈折率 n<sub>1</sub> が以下の条件式を満足することを特徴とする光学的空間周波数フィルタ。

【数 1】

前記位相差板から射出される前記二つの光のそれぞれを前記第 1 の方向と異なる第 2 の方向に沿って空間的に分割された二つの光に分離するための第 2 複屈折板とを有し、撮影レンズと撮像素子との間の光路中に配設される光学的空間周波数フィルタにおいて、前記第 1 複屈折板および前記第 2 複屈折板は略同一の屈折率を有し、

前記撮影レンズに近い側から順に前記第 1 複屈折板、前記位相差板および前記第 2 複屈折板が配列され、画面对角の像高を A、撮像面から撮影レンズの射出瞳までの空気換算長を PO としたとき、 $A/PO \geq 0.15$  において前記第 1 複屈折板の厚み  $t_{11}$  および屈折率  $n_1$  \*

【数 2】

$$t_{11} + t_{12} \leq C1 \times \frac{n_1}{Y(n_1)} \quad \dots \text{式 (9)}$$

ここに、

$$Y(n_1) = 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_1} \quad \dots \text{式 (10)}$$

$$C1 = K \times B \times d \times Fno - \left( 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_2} \right) \times \frac{t_2}{n_2} \quad \dots \text{式 (11)}$$

$$\sin \theta_1 = \frac{\sin \phi}{n_1} \quad \dots \text{式 (12)}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \phi}{n_1} \right) \quad \dots \text{式 (13)}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left( \frac{n_1 \times \sin \phi}{n_2} \right) \quad \dots \text{式 (14)}$$

$$0.25 \leq K \leq 0.35 \quad \dots \text{式 (15)}$$

$$1 \leq B \leq 3 \quad \dots \text{式 (16)}$$

$t_{11}$  : 第 1 複屈折板の厚み

$t_{12}$  : 第 2 複屈折板の厚み

$n_1$  : 第 1 複屈折板および第 2 複屈折板の屈折率

$t_2$  : 位相差板の厚み

$n_2$  : 位相差板の屈折率

$d$  : 撮像素子の画素ピッチ

$\phi$  : 撮影レンズの射出瞳の中心から撮像素子の撮像面对角へ入射する

光線の第 1 複屈折板への入射角

$Fno$  : 撮影レンズの F 値

【請求項 3】入射光を第 1 の方向に沿って空間的に分割された二つの光に分離するための第 1 複屈折板と、前記第 1 複屈折板から射出される前記二つの光のそれぞれのうち、一の振動方向に振動する成分の光と、前記一の振動方向に対して直交する他の振動方向に振動する成分の光との間に特定の量の位相差を生じせしめる位相差板と、前記位相差板から射出される前記二つの光のそれぞれを前記第 1 の方向と異なる第 2 の方向に沿って空間的に分割された二つの光に分離するための第 2 複屈折板とを有し、撮影レンズと撮像素子との間の光路中に配設される光学的空間周波数フィルタにおいて、

\* 1 ならびに前記第 2 複屈折板の厚み  $t_{12}$  および屈折率  $n_1$  が以下の条件式を満足することを特徴とする光学的空間周波数フィルタ。

【数 2】

前記第 1 複屈折板および前記第 2 複屈折板は互いに異なる厚みおよび屈折率を有し、  
40 前記撮影レンズに近い側から順に前記第 1 複屈折板、前記位相差板および前記第 2 複屈折板が配列され、画面对角の像高を A、撮像面から撮影レンズの射出瞳までの空気換算長を PO としたとき、 $A/PO \geq 0.15$  において前記第 1 複屈折板の厚み  $t_{11}$  および屈折率  $n_{11}$  ならびに前記第 2 複屈折板の厚み  $t_{12}$  および屈折率  $n_{12}$  が以下の条件式を満足することを特徴とする光学的空間周波数フィルタ。

【数 3】

5  
【数3】

$$\left(1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta 1}\right) \times \frac{t 1 1}{n 1 1} + \left(1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta 3}\right) \times \frac{t 1 2}{n 1 2} \leq C 2 \quad \text{式 (17)}$$

ここに、

$$C 2 = K \times B \times d \times F n o - \left(1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta 2}\right) \times \frac{t 2}{n 2} \quad \text{式 (18)}$$

$$\sin \theta 1 = \frac{\sin \phi}{n 1 1} \quad \text{式 (19)}$$

$$\theta 1 = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \phi}{n 1 1} \right) \quad \text{式 (20)}$$

$$\theta 2 = \sin^{-1} \left( \frac{n 1 1 \times \sin \theta 1}{n 2} \right) \quad \text{式 (21)}$$

$$\theta 3 = \sin^{-1} \left( \frac{n 2 \times \sin \theta 2}{n 1 2} \right) \quad \text{式 (22)}$$

$$0.25 \leq K \leq 0.35 \quad \text{式 (23)}$$

$$1 \leq B \leq 3 \quad \text{式 (24)}$$

t 1 1 : 第1複屈折板の厚み

t 1 2 : 第2複屈折板の厚み

n 1 1 : 第1複屈折板の屈折率

n 1 2 : 第2複屈折板の屈折率

t 2 : 位相差板の厚み

n 2 : 位相差板の屈折率

d : 撮像素子の画素ピッチ

φ : 撮影レンズの射出瞳の中心から撮像素子の撮像面对角へ入射する

光線の第1複屈折板への入射角

F n o : 撮影レンズのF値

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子カメラの撮像光学系などに用いる光学的空間周波数フィルタに関する。

#### 【0002】

【従来の技術】CCDなどの撮像素子を用いたデジタルスチルカメラ（以下、本明細書中ではデジタルスチルカメラを単に「DSC」と称する）では、被写体の空間周波数と撮像素子の前面にあるドット状色分解フィルタの繰り返しピッチとのビートにより発生する色の偽信号、いわゆる「色モアレ」の発生を防止するために、撮影レンズと撮像素子との間に空間周波数フィルタが配設される。この空間周波数フィルタは、複屈折効果を有する複屈折板を用いて構成されており、複屈折板の有する複屈折効果によってビートを起こす空間周波数を制限する。複屈折板の材料としては、一般的に水晶が用いられる。

【0003】特公平6-20316号公報には、上述した複屈折板を2枚用い、ドット状の色分解フィルタを有する撮像素子に適した空間周波数フィルタが提案されている。この空間周波数フィルタは、複屈折による像のず

30 れる方向をほぼ90度ずらした2枚の複屈折板で、位相差板としての1/4波長板を挟んだ構成のものとなっている。

【0004】ところで、DSCのうち、レンズ交換のできる一眼レフタイプのDSCでは、縮小光学系等を用いずに撮影レンズの一次結像面に直接撮像素子を配置するいわゆるダイレクト結像式のもの近年主流になりつつある。ダイレクト結像式のもの主流になりつつある背景として、従来のテレビカメラ等で用いられていた2/3インチサイズ（6.8mm×8.8mm程度）や1インチサイズ（9.3mm×14mm程度）のCCDに代わり、15.5mm×22.8mm程度のイメージエリアサイズの大きなCCDが製造され、これを利用することができるようになったことによる。この程度のイメージエリアの大きさがあれば、銀塩フィルムでのIX240システム（APS）におけるCタイプにほぼ匹敵するサイズ（縦横比約2:3=15.6mm×22.3mm）の画面となる。比較的大きなイメージエリアサイズのCCDを用いることにより、2/3インチサイズや1インチサイズのCCDを用いたのでは35mmフィルムに比べCCDのサイズが小さすぎるために35mmフィ

ルムサイズのごく一部しか撮影できないといった不具合が解消される。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところが、撮影レンズによる一次像をCCDにダイレクト結像させる一眼レフタイプのDSCでは、イメージエリアサイズが増すにつれ、以下に説明するように光学的な問題点が無視できなくなってくる。

【0006】画素数を増すことなくCCDのイメージエリアを拡大すると、画素一つ一つの大きさが大きくなる。画素の大きさが増すと、画素ピッチも増す。空間周波数フィルタは、一つの入射光を複数の光に空間的に分離するものであるが、これらの光の相対ずれ量を画素ピッチの増加に応じて増す必要がある。この相対ずれ量を増すためには複屈折板の厚みを増す必要があり、したがって空間周波数フィルタの厚みは増す。

【0007】ところで、厚さ $d$ 、屈折率 $n$ を有する媒質中を光が透過して進む場合の空気換算光路長は、 $d/n$ で表される。つまり、同じ屈折率 $n$ の媒質中を光が進む場合に、厚さ $d$ が異なれば空気換算光路長（以下、本明細書中では空気換算光路長を単に「空気換算長」と称する）も異なる。いま、撮影光学系の光軸上の一点からCCDに向けて出射し、画面中央に達する光と画面周辺に達する光とを考える。

【0008】画面中央に達する光は、空間周波数フィルタの光入射面に対し、ほぼ直角に入射するので、 $d$ は空間周波数フィルタの厚みにほぼ等しい。これに対し、画面周辺に達する光は空間周波数フィルタ中を斜めに進むため、画面中央に達する光に比べて $d$ が大きくなる。このように、画面中央に達する光と画面周辺に達する光とで空間周波数フィルタを透過する際の空気換算長が異なるため、画面中央部と画面周辺部とは光軸方向に焦点ずれを生じる。

【0009】CCDのイメージエリア拡大すなわち画素ピッチが大きくなると空間周波数フィルタの厚みも増加する。空間周波数フィルタの厚み増加によって上述した焦点ずれの量も大きくなり、特に画面周辺部における画質低下の要因となる場合があった。

【0010】本発明は、撮像素子のイメージエリアが拡大、あるいは画素ピッチが拡大されても、画面周辺部における画質の低下を抑制可能な空間周波数フィルタを提供することを目的とする。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】（１）一実施の形態を示す図１に対応付けて以下の発明を説明すると、請求項１に記載の発明は、入射光を第１の方向に沿って空間的に分割された二つの光に分離するための第１複屈折板１１と；第１複屈折板１１から射出される二つの光のそれぞれのうち、一の振動方向に振動する成分の光と、一の振動方向に対して直交する他の振動方向に振動する成分の光との間に特定の量の位相差を生じせしめる位相差板１３と；位相差板１３から射出される二つの光のそれぞれを第１の方向と異なる第２の方向に沿って空間的に分割された二つの光に分離するための第２複屈折板１２とを有し、撮影レンズ１０と撮像素子３５との間の光路中に配設される光学的空間周波数フィルタＳＦに適用される。そして、第１複屈折板１１および第２複屈折板１２は略同一の厚さ $t$ １および屈折率 $n$ １を有し；撮影レンズ１０に近い側から順に第１複屈折板１１、位相差板１３および第２複屈折板１２が配列され；画面对角の像高を $A$ 、撮像面３５ｐから撮影レンズ１０の射出瞳 $L$ までの空気換算長を $PO$ としたとき、 $A/PO \geq 0.15$ において第１複屈折板１１および第２複屈折板１２の厚み $t$ １および屈折率 $n$ １が以下の条件式を満足することにより上述した目的を達成する。

#### 【数４】

9  
【数4】

$$t1 \leq C \times \frac{n1}{Y(n1)} \quad \dots \text{式(25)}$$

ここに、

$$Y(n1) = 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta1} \quad \dots \text{式(26)}$$

$$C = \frac{1}{2} \times \left\{ K \times B \times d \times Fno - \left( 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta2} \right) \times \frac{t2}{n2} \right\} \quad \dots \text{式(27)}$$

$$\sin \theta1 = \frac{\sin \phi}{n1} \quad \dots \text{式(28)}$$

$$\theta1 = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \phi}{n1} \right) \quad \dots \text{式(29)}$$

$$\theta2 = \sin^{-1} \left( \frac{n1 \times \sin \phi}{n2} \right) \quad \dots \text{式(30)}$$

$$0.25 \leq K \leq 0.35 \quad \dots \text{式(31)}$$

$$1 \leq B \leq 3 \quad \dots \text{式(32)}$$

t1 : 第1複屈折板および第2複屈折板の厚み

n1 : 第1複屈折板および第2複屈折板の屈折率

t2 : 位相差板の厚み

n2 : 位相差板の屈折率

d : 撮像素子の画素ピッチ

φ : 撮影レンズの射出瞳の中心から撮像素子の撮像面对角へ入射する

光線の第1複屈折板への入射角

Fno : 撮影レンズのF値

(2) 一実施の形態を示す図9に対応付けて以下の発明を説明すると、請求項2に記載の発明に係る空間周波数フィルタSFAは、第1複屈折板11Aおよび第2複屈折板12Aが略同一の屈折率n1を有するものである。そして、撮影レンズ10に近い側から順に第1複屈折板11A、位相差板13および第2複屈折板12Aが配列され；画面对角の像高をA、撮像面から撮影レンズ

の射出瞳Lまでの空気換算長をPOとしたとき、A/PO ≥ 0.15において第1複屈折板11Aの厚みt11および屈折率n1ならびに第2複屈折板12Aの厚みt12および屈折率n1が以下の条件式を満足するものである。

【数5】

11  
【数5】

$$t_{11} + t_{12} \leq C1 \times \frac{n_1}{Y(n_1)} \quad \dots \text{式(33)}$$

ここに、

$$Y(n_1) = 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_1} \quad \dots \text{式(34)}$$

$$C1 = K \times B \times d \times Fno - \left( 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_2} \right) \times \frac{t_2}{n_2} \quad \dots \text{式(35)}$$

$$\sin \theta_1 = \frac{\sin \phi}{n_1} \quad \dots \text{式(36)}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \phi}{n_1} \right) \quad \dots \text{式(37)}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left( \frac{n_1 \times \sin \phi}{n_2} \right) \quad \dots \text{式(38)}$$

$$0.25 \leq K \leq 0.35 \quad \dots \text{式(39)}$$

$$1 \leq B \leq 3 \quad \dots \text{式(40)}$$

$t_{11}$  : 第1複屈折板の厚み

$t_{12}$  : 第2複屈折板の厚み

$n_1$  : 第1複屈折板および第2複屈折板の屈折率

$t_2$  : 位相差板の厚み

$n_2$  : 位相差板の屈折率

$d$  : 撮像素子の画素ピッチ

$\phi$  : 撮影レンズの射出瞳の中心から撮像素子の撮像面对角へ入射する

光線の第1複屈折板への入射角

$Fno$  : 撮影レンズのF値

(3) 一実施の形態を示す図10に対応付けて以下の発明を説明すると、請求項3に記載の発明に係る空間周波数フィルタSFBは、第1複屈折板11Bおよび第2複屈折板12Bは互いに異なる厚みおよび屈折率を有し；撮影レンズ10に近い側から順に第1複屈折板11B、位相差板13および第2複屈折板12Bが配列され；画面对角の像高をA、撮像面35pから撮影レンズ

10の射出瞳Lまでの空気換算長をPOとしたとき、 $A/PO \geq 0.15$ において第1複屈折板11Bの厚み $t_{11}$ および屈折率 $n_{11}$ ならびに第2複屈折板12Bの厚み $t_{12}$ および屈折率 $n_{12}$ が以下の条件式を満足するものである。

【数6】



13  
【数6】

$$\left(1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_1}\right) \times \frac{t_{11}}{n_{11}} + \left(1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_3}\right) \times \frac{t_{12}}{n_{12}} \leq C2 \quad \text{式(41)}$$

ここに、

$$C2 = K \times B \times d \times Fno - \left(1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_2}\right) \times \frac{t_2}{n_2} \quad \text{式(42)}$$

$$\sin \theta_1 = \frac{\sin \phi}{n_{11}} \quad \text{式(43)}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \phi}{n_{11}} \right) \quad \text{式(44)}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left( \frac{n_{11} \times \sin \theta_1}{n_2} \right) \quad \text{式(45)}$$

$$\theta_3 = \sin^{-1} \left( \frac{n_2 \times \sin \theta_2}{n_{12}} \right) \quad \text{式(46)}$$

$$0.25 \leq K \leq 0.35 \quad \text{式(47)}$$

$$1 \leq B \leq 3 \quad \text{式(48)}$$

$t_{11}$  : 第1複屈折板の厚み

$t_{12}$  : 第2複屈折板の厚み

$n_{11}$  : 第1複屈折板の屈折率

$n_{12}$  : 第2複屈折板の屈折率

$t_2$  : 位相差板の厚み

$n_2$  : 位相差板の屈折率

$d$  : 撮像素子の画素ピッチ

$\phi$  : 撮影レンズの射出瞳の中心から撮像素子の撮像面对角へ入射する

光線の第1複屈折板への入射角

$Fno$  : 撮影レンズのF値

【0012】なお、本発明の構成を説明する上記課題を解決するための手段の項では、本発明を分かり易くするために発明の実施の形態の図を用いたが、これにより本発明が実施の形態に限定されるものではない。

#### 【0013】

【発明の実施の形態】図1は、DSCの内部において撮影レンズ10と撮像素子35との間に空間周波数フィルタSFが配設される様子を概略的に示す図である。空間周波数フィルタSFは、2枚の複屈折板11および12の間に位相差板13を挟んだ構成となっている。複屈折板11および12の厚さは等しく、 $t_1$ である。位相差板13の厚さは $t_2$ である。また複屈折板11および12の屈折率は $n_1$ であり、位相差板13の屈折率は $n_2$ である。撮像素子35にはCCDやMOS型イメージセンサ等の素子が用いられる。

【0014】上記空間周波数フィルタSFの作用について図2を参照して説明する。なお、図2において撮影レンズ10の光軸と平行な方向にX軸をとり、撮像素子35の画素配列方向のうちの水平配列方向に平行な方向にY軸をとり、同じく垂直配列方向にZ軸をとる。そしてこれらX、Y、Z軸に沿う方向をそれぞれX方向、Y

30 方向、Z方向と称して説明をする。図2において、X軸、Y軸およびZ軸はそれぞれ互いに略直交する。

【0015】複屈折板11および12は、それらの複屈折方向が互いに略直交するように配設される。位相差板13は、入射する直線偏光のうち、一の振動方向に振動する成分の光と、一の振動方向に対して直交する他の振動方向に振動する成分の光との間に1/4波長分の位相差を生じせしめるためのものであり、1/4波長板とも称される。

40 【0016】複屈折板11は、入射光36をY方向に沿って以下に説明するように空間的に分離する。すなわち複屈折板11は、入射光36を互いに直交する振動方向を有する二つの直線偏光である正常光37と異常光38とに分離する。これら正常光37および異常光38に対して複屈折板11は異なる屈折率を有している。したがって、正常光37および異常光38が複屈折板11を透過する際に相異なる屈折作用を受け、上述したように空間的に分離される。

50 【0017】正常光37および異常光38は、位相差板13を透過する際にそれぞれ円偏光37'および38'に変換される。円偏光37'および38'に対して複屈

折板 12 は、自然光（ランダム偏光）に対するのと同等の作用をするので、円偏光 37' および 38' は複屈折板 12 によってそれぞれ Z 方向に空間的に分離される。つまり、円偏光 37' は正常光 39 と異常光 40 とに空間的に分離される一方、円偏光 38' は正常光 41 と異常光 42 とに空間的に分離される。

【0018】上述のようにして、入射光 36 は周波数フィルタ SF を透過して互いに略直交する X 方向および Y \*

$$d = t \times (n_e^2 - n_o^2) / (2 \times n_e \cdot n_o) \quad \dots \text{式 (48)}$$

ここで t : 複屈折板 11 または 12 の厚さ

n<sub>e</sub> : 異常光に対する屈折率

n<sub>o</sub> : 正常光に対する屈折率

【0020】以上の式 (48) において、d は撮像素子 35 の画素ピッチによって決まり、n<sub>e</sub> および n<sub>o</sub> は複屈折板 11 および 12 の材質によって決まる。つまり、複屈折板 11 または 12 の厚さ t は、撮像素子 35 の画素ピッチと複屈折板 11 および 12 の材質とによって決まる。

【0021】ここでは詳細に説明しないが、位相差板 13 の厚さ t<sub>2</sub> も同様にして定められる。すなわち、上述したように入射する直線偏光のうち、一の振動方向に振動する成分の光と、一の振動方向に対して直交する他の振動方向に振動する成分の光との間に 1/4 波長分の位相差が生じるように位相差板 13 の厚さ t<sub>2</sub> が定められる。以上のようにして定められる位相差板 13 の厚さ t<sub>2</sub> は、一般的に 0.5 mm 程度となる。

【0022】以上のように構成される空間周波数フィルタ SF の厚みと撮像素子 35 のイメージエリアサイズとの関連について説明する。

【0023】ここで、2/3 インチのイメージエリアサイズを有する 130 万画素程度の撮像素子を用いる場合と、15.5 mm × 22.8 mm のイメージエリアサイズを有する 200 万画素程度の撮像素子を用いる場合とを例にとり、空間周波数フィルタの総厚がどの程度になるかについて一般論を述べる。そして、空間周波数フィルタの厚みが増すことにより生じる光学的な問題点について説明する。

【0024】2/3 インチ程度の画面サイズで 130 万画素程度の画素数を有する撮像素子では、画素ピッチは 6.6 μm 程度である。複屈折板として最も一般的な水晶を用いてこの程度の画素ピッチに相当する像の分離量を得るに必要な厚み t を求めると、以下ようになる。水晶は、589 nm の波長を有する光に対して以下の屈折率を有する。

$$n_e = 1.55336$$

$$n_o = 1.54425$$

【0025】式 (48) において d = 6.6 μm として逆算すると、複屈折板 1 枚あたりの厚さ t は 1.12 mm 程度になる。位相差板の厚さは分離量に関係なく、上述のように 0.5 mm 程度必要なので、この場合に空間

\* 方向に空間的に分離され、撮像素子 35 上に 4 重像が形成される。複屈折板 11 および 12 は、上述したようにその複屈折方向が互いに直交するように配設されているため、4 重像を構成する各点において強度が等しくなる。

【0019】複屈折板 11 および 12 の複屈折作用による分離量 d は、以下の式 (48) で求められる。

【数 7】

10 周波数フィルタとして 3 枚貼り合わせた厚さは 2.74 mm 程度となる。

【0026】一方、1X240 システムにおける C タイプに匹敵するような、15.5 mm × 22.8 mm 程度のイメージエリアサイズで約 200 万画素程度の画素数を有する撮像素子では、その画素ピッチは約 13.2 μm となる。複屈折板を 2/3 インチ撮像素子の例と同様に水晶で構成するものとし、画素ピッチ 13.2 μm に相当する像の分離量を得るのに必要な厚み t を求めると、式 (48) において d = 13.2 μm として逆算し、t = 2.25 mm となる。この複屈折板 2 枚の厚みと位相差板の厚み 0.5 mm を合わせると、空間周波数フィルタの総厚は約 5 mm となり、画素ピッチが 6.6 μm のときの空間周波数フィルタの厚みの約 82% 増しとなってしまふ。さらに、撮像素子を用いた DSC では、撮像素子の分光感度が人間の目のそれと異なるため、撮像光路内に赤外光をカットする IR カットフィルタを配置するのが通例である。この IR カットフィルタ（厚さ 0.5 mm 程度）も、空間周波数フィルタと貼り合わせて配置する。すると画素ピッチ 13.2 μm 対応の空間周波数フィルタは、IR カットフィルタと合わせて合計 4 枚で 5.5 mm もの厚さになる。

【0027】ここで図 3 を参照し、撮影レンズ 10 と撮像素子 35 との間に総厚 T の空間周波数フィルタ SF が配設されることにより生じる光学的な問題点について説明する。

【0028】いま、説明を簡略化するために撮影レンズ 10 と撮像素子 35 との間に配設される総厚 T の空間周波数フィルタ SF は均一な屈折率 n を有するものとする。空間周波数フィルタ SF を撮影レンズ 10 と撮像素子 35 との間に配設したことにより、レンズ 10 と撮像素子 35 の撮像面 35p との間の空気換算長は、この空間周波数フィルタ SF が存在しない場合に比べて以下の式 (49) で示されるように変化する。

【数 8】

【数 8】

$$\Delta l = t \times \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad \dots \text{式 (49)}$$

【0029】ところで、上記式 (49) で表される空気換算長の変化量 Δl は、撮影レンズ 10 の光軸 A x 上を

進む光線に関するものであって、空間周波数フィルタSFに垂直に光線が入射する場合にのみ成立する。レンズ10の射出瞳Lの中心Pを通してフィルタSFへの入射角 $\phi$ が最大になるのは撮像素子35の撮像面35pの対角の隅35aに光線SRが入射する場合である。この光線SRのフィルタSF入射後の屈折角を $\theta_1$ 、光線SR\*

【数9】

$$\Delta 3 = \frac{t}{\cos \phi} - \frac{L1}{n} = \frac{t}{\cos \phi} - \frac{t}{n \times \cos \theta_1}$$

$$= t \times \left( \frac{1}{\cos \phi} - \frac{1}{n \times \cos \theta_1} \right) \quad \cdots \text{式(50)}$$

$$\Delta 2 = \Delta 3 \times \cos \phi = t \times \left( 1 - \frac{\cos \phi}{n \times \cos \theta_1} \right) \quad \cdots \text{式(51)}$$

【0030】式(49)および式(51)より、撮像素子35の撮像面35pの中心35cに達する光線と対角の隅の点35aに達する光線とでは空気換算長の変化量に以下の式(52)で示されるような差 $\Delta 2 - \Delta 1$ を生じる。この差により画面中心と周辺とで焦点ずれを生

【数10】

$$\Delta 2 - \Delta 1 = \frac{t}{n} \times \left( 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_1} \right) \quad \cdots \text{式(52)}$$

【0031】差 $\Delta 2 - \Delta 1$ は、式(52)から明らかのように、画面对角の隅35aへ入射する光線であっても空間周波数フィルタSFへの入射角がそれほど大きくない限り $\theta_1 \approx \phi$ とみなせるので、 $\Delta 2 - \Delta 1$ は0とみなせる。

【0032】画面对角の隅へ入射する光線であっても空間周波数フィルタSFへの入射角がそれほど大きくな

らない条件は、以下の二つである。すなわち、第1の条件は、撮影レンズ10の射出瞳Lと撮像面35pとの距離(PO)が長いことである。第2の条件は、撮像素子35のイメージエリアサイズが小さい、つまり撮像面35pのエリアサイズが小さくて画面中心35cから画面对角の隅35aまでの距離Aが小さいことである。

【0033】一眼レフタイプのDSCでは、銀塩の135タイプフィルムを用いるカメラに用いられる交換レンズがそのまま使用できることが多いので、POの比較的短い50mm程度のレンズも用いられる。撮像素子の撮像サイズを仮に24mm×16mm(横:縦=3:2)、画素ピッチ13.2 $\mu$ mとし、PO=50mmのレンズ10を装着した場合、上述した差 $\Delta 2 - \Delta 1$ がどの程度になるか算出してみる。

【0034】フィルタSFの厚さ5mm(画素ピッチ13.2 $\mu$ m、位相差板の厚み0.5mmを含む)、 $n=1.54$ (水晶)と仮定すると、画面对角の像高=14.4mmとなり、空間周波数フィルタへの入射角 $\phi=16.1^\circ$ となる。屈折の法則より $\theta_1=10.4^\circ$ と

\*のフィルタSL中の光路長をL1とすると、光線SRの進行方向に沿う空気換算長の変化量 $\Delta 3$ は、以下の式(50)で求められる。そして、この式(50)から光軸方向の空気換算長の変化量 $\Delta 2$ は、以下の式(51)で求められる。

【数9】

※じ、撮影レンズ10の結像面が平坦でなくなる。したがって、上述した差 $\Delta 2 - \Delta 1$ が大きくなると画面周辺部での画質低下を招く。

【数10】

※20

なり、式(52)より画面中央35cと画面对角35aでの焦点ずれ量 $\Delta 2 - \Delta 1$ は約75 $\mu$ mとなる。

【0035】上記計算結果を先に例示した2/3インチサイズ(対角の像高=5.6mm、画素ピッチ6.6 $\mu$ m)の撮像素子を用い、PO=100mmのレンズがついた場合と比較してみると、入射角 $\phi=3.2^\circ$ より $\theta_1=2.1^\circ$ となる。2/3インチサイズの撮像素子の画素ピッチは6.6 $\mu$ mであることより、空間周波数フィルタSF( $n=1.54$ )の厚さが約2.7mm(同じく位相差板含む)となるので、この場合の画面对角での焦点ずれ量 $\Delta 2 - \Delta 1$ は約1.6 $\mu$ mとなり、75 $\mu$ mの約2%でしかない。

【0036】ところで、撮像素子で撮像した場合の焦点深度について論じる場合に、前提となる許容錯乱円の直径、すなわち許容錯乱円径をどのように定めるかが問題となる。135タイプ(35mmフルサイズ)の銀塩フィルムでは、許容錯乱円径を約33 $\mu$ m(=1/30mm)とする説がある。一方、撮像素子で撮像した場合には、許容錯乱円径を撮像素子の画素ピッチの何倍とするかについて1倍から3倍程度の間で諸説あるが、ここでは、許容錯乱円径を仮に画素ピッチの2倍の大きさとする。

【0037】焦点深度は、撮影レンズの設定絞り値と許容錯乱円径との積で求められる。したがって、撮影レンズの設定絞り値をF2.8、画素ピッチを13.2 $\mu$ mとした場合の焦点深度は、2.8×13.2 $\mu$ m×2=

74  $\mu\text{m}$ となる。また、撮影レンズの設定絞り値をF2.8、画素ピッチを6.6  $\mu\text{m}$ とした場合の焦点深度は2.8 $\times$ 6.6  $\mu\text{m}$  $\times$ 2=36  $\mu\text{m}$ となる。36  $\mu\text{m}$ の焦点深度に対し1.6  $\mu\text{m}$ の焦点ずれは全く問題とならないが、74  $\mu\text{m}$ の焦点深度に対し75  $\mu\text{m}$ の焦点ずれは大きな問題となる。たとえ画面中央で誤差なしで焦点がぴったりと合ったとしても、画面对角の隅では空間周波数フィルタSFの厚さによる焦点ずれが焦点深度を既に超えており、これにさらに画面中央での焦点合わせの誤差要因（撮像画面の位置調整精度、レンズのピント合わせ誤差等）が加われば、画面对角の画像において誤差要因に対する許容幅が全くなってしまうからである。

【0038】空間周波数フィルタへの入射角と上述した焦点ずれ量との関係を、空間周波数フィルタの厚さをパラメータとしてグラフ化したのが図4である。図4のグラフにおいて、曲線1が画素ピッチ13.2  $\mu\text{m}$ の撮像素子に対応した水晶の複屈折板を用いた比較的厚い空間周波数フィルタによる焦点ずれ量の変化を示し、曲線2が画素ピッチ6.6  $\mu\text{m}$ の撮像素子に対応した水晶の複屈折板を用いた比較的薄い空間周波数フィルタによる焦点ずれ量の変化を示している。PO=50mm、画素ピッチ13.2  $\mu\text{m}$ 、対角像高14.4mmの場合がT点であり、PO=100mm、画素ピッチ6.6  $\mu\text{m}$ 、対角像高5.6mmの場合がS点で表される。

【0039】画素ピッチ6.6  $\mu\text{m}$ の撮像素子を24mm $\times$ 16mmまで大型化すると、画面对角での焦点ずれ量はS点から曲線2に沿って右上がりに増大し、入射角16.1°でのS1点の値となる。しかし、大型化した撮像素子の画素ピッチは画素数の増大と製作上の歩留まり等を比較考量し、また感度を向上させる目的もあり、画素ピッチも大きくするのが一般的である。すると、それに対応して水晶を用いた空間周波数フィルタの厚さも増さなければならない。

【0040】この空間周波数フィルタの厚さ増しによって、焦点ずれ量は曲線2上のS1点からさらに上に向かって増大し、画素ピッチ13.2  $\mu\text{m}$ の撮像素子の場合には曲線1上のT点となる。このように、イメージエリアサイズの大きい撮像素子において画面对角での焦点ずれ量が飛躍的に増大するのは、画面对角への入射光のフィルタへの入射角が増大することと、画素ピッチの増大によりフィルタの厚さの増大を招くことが相乗されるか\*

【数11】

$$\text{焦点ずれ量(複屈折板)} \quad \Delta r = \frac{t_1}{n_1} \times \left( 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_1} \right) \quad \cdots \text{式(53)}$$

$$\text{焦点ずれ量(位相差板)} \quad \Delta p = \frac{t_2}{n_2} \times \left( 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_2} \right) \quad \cdots \text{式(54)}$$

$$\Delta a = 2 \times \Delta r + \Delta p \quad \cdots \text{式(55)}$$

\*らである。

【0041】図4と同様のグラフを図5に示す。図5では画素ピッチ13.2  $\mu\text{m}$ の撮像素子に対応した水晶の複屈折板を用いた空間周波数フィルタによる焦点ずれ量の変化を示す曲線と、画素ピッチ9  $\mu\text{m}$ の撮像素子に対応した水晶の複屈折板を用いた空間周波数フィルタによる焦点ずれ量の変化を示す曲線とが図示されている。

【0042】いま、上述した焦点ずれの許容値を焦点深度の1/3と仮定する。撮影レンズの設定絞り値がF2.8の場合、焦点深度は2.8 $\times$ 画素ピッチ $\times$ 2で与えられる。焦点ズレの許容値を画素ピッチで表現すると、2.8 $\times$ 画素ピッチ $\times$ 2 $\div$ 3=1.9 $\times$ 画素ピッチとなる。1.9画素ピッチの焦点ずれ(13.2  $\mu\text{m}$ の画素ピッチで25.1  $\mu\text{m}$ 、9  $\mu\text{m}$ の画素ピッチで7.1  $\mu\text{m}$ )は、図5より入射角約9.5°付近のときに生じることが読み取れる。TAN9°=0.158となるので、画面对角の像高をAとしたとき、TAN $\phi$ =A/PO $\geq$ 0.15程度を越すようなPO、および画面对角の像高Aの組み合わせを有することがある場合に画面对角での焦点ずれを考慮したフィルタにしなければならないことがわかる。

【0043】ここで再び図1を参照し、本発明の実施の形態に係る空間周波数フィルタSFで如何にして上述した焦点ずれが減じられるかについて説明する。図1に示すように、撮影レンズ10の射出瞳Lの中心を通して撮像面35pの対角の隅35aへ入射する光線SRの複屈折板11に入射後の屈折角を $\theta_1$ (複屈折板11および12の屈折率は互いに等しいので、複屈折板12に入射後の屈折角も同じ $\theta_1$ である)とする。同じく、光線SRの位相差板13入射後の屈折角を $\theta_2$ とする。また、複屈折板11、12の屈折率を $n_1$ 、位相差板13の屈折率を $n_2$ とする。

【0044】複屈折板11、位相差板13、そして複屈折板13それぞれを透過することにより生じる画面对角での焦点ずれ量は、式(52)より、複屈折板11、12それぞれによる分が以下の式(53)で、位相差板13による分が以下の式(54)でそれぞれ求められる。空間周波数フィルタSFにより画面对角で生じる焦点ずれ量 $\Delta a$ は両者の和となり、以下の式(55)により求めることができる。

【数11】

【0045】この画面对角での焦点ずれ量の許容値の考 え方について再度説明する。画面中央(=レンズ光軸

上)での焦点位置には、ピント合わせ誤差(AFによる側距誤差やレンズ停止精度誤差、あるいはマニュアルの場合のピント合わせ誤差)が必ずといってよいほど存在し、カメラの像面位置自体の機械的精度自体も誤差=0とすることは困難である。よってこれらの誤差は、最終的には像面の焦点深度(=撮影レンズの設定絞り値と許容錯乱円径との積)によってカバーしなければならない。したがって、焦点ずれ量の許容値=焦点深度とすることはできず、焦点ずれ量の許容値は焦点深度のK倍(K<1)以内としなければならないこととなる。画面中央における上述したピント精度のばらつき要因を考慮\*

【数12】

$$2 \times \frac{t1}{n1} \times \left(1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta1}\right) + \frac{t2}{n2} \times \left(1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta2}\right) \leq K \times B \times d \times Fno \quad \dots \text{式(56)}$$

$$(0.25 \leq K \leq 0.35, \quad 1 \leq B \leq 3)$$

【0048】レンズの射出瞳Lから撮像面35pまでの距離と撮像素子35のイメージエリアサイズを固定し、位相差板の材質と厚さを一定(例えば一般的な水晶で厚さ0.5mm程度)とすれば、 $n2=1.54$ 、 $\theta2=10.4^\circ$ 、 $t2=0.5$ と、定数となる。また、 $\phi$ も※

【数13】

$$t1 \leq C \times \frac{n1}{Y(n1)} \quad \dots \text{式(57)}$$

ここに

$$Y(n1) = 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta1} \quad \dots \text{式(58)}$$

$$C = \frac{1}{2} \times \left\{ K \times B \times d \times Fno - \left(1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta2}\right) \times \frac{t2}{n2} \right\} = \text{const.} \quad \dots \text{式(59)}$$

$$\sin \theta1 = \frac{\sin \phi}{n1} \quad \dots \text{式(60)}$$

$$\theta1 = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \phi}{n1} \right) \quad \dots \text{式(61)}$$

$$\theta2 = \sin^{-1} \left( \frac{n1 \times \sin \phi}{n2} \right) \quad \dots \text{式(62)}$$

【0049】ここで画面对角の像高14.4mm(24mm×16mmの対角)、像面からレンズの射出瞳までが空気換算長で50mm、 $K=0.3$ 、 $B=3$ 、 $d=12\mu\text{m}$ 、 $Fno=2.8$ の場合を考えると、フィルタへ☆

【数14】

$$Y(n1) = 1 - \frac{0.9608}{\cos \{ \sin^{-1}(0.2773/n1) \}} \quad \dots \text{式(63)}$$

$$C = 0.006318 \quad \dots \text{式(64)}$$

\*すると、焦点深度の1/4~1/3程度( $0.25 \leq K \leq 0.35$ )にするのが常識的な値と考えられる。

【0046】一方、既に述べたように、撮像素子での撮像画面の場合、許容錯乱円径が撮像素子の画素ピッチの何倍となるかについては1倍~3倍程度の間で諸説あるので、許容錯乱円径を $B \times d$ ( $1 \leq B \leq 3$ 、 $d$ :画素ピッチ)とする。

【0047】撮影レンズ10の設定絞り値を $Fno$ とし、上述した関係を数式で表すと、式(56)で示される。

【数12】

※一定値となり、式(56)の左辺第2項は定数となる。

したがって、 $\theta1$ は $n1$ の関数として表すことができ、

式(56)は以下の式(57)のように表すことができる。

【数13】

☆の入射角 $\phi=16.1^\circ$ 、 $\theta2=10.4^\circ$ より、 $Y(n1)$ および $C$ は以下の式(63)および式(64)で求められる。

【数14】

【0050】これらの値を代入して、式(57)の関係を $n_1$ を横軸に、 $t_1$ を縦軸にとってグラフにすると、図6の曲線Gようになる。式(57)の不等式を満たす $t_1$ と $n_1$ の組み合わせは、図6の曲線Gより下の領域に存在する組み合わせとなる。複屈折板11および12の材料として、上述のような屈折率 $n_1$ および厚み $t_1$ の組み合わせとなるように選定することにより、画面对角での焦点ずれ量が所定の値(BとKの値を決めることにより決まった許容値)以下となる。例えば複屈折板11および12に水晶を用いる場合を考える。この複屈折板11および12に水晶を用いたときの厚さを $t_{1q}$ とすれば、 $d=12\mu\text{m}$ を式(48)に代入して $t_{1q}=2.04\text{mm}$ となる。水晶の屈折率 $n_{1q}=1.54$ であるから、図6に示すグラフ中の( $n_{1q}$ 、 $t_{1q}$ )の座標は点Qの位置になり、画面对角での焦点ずれ量が許容値以下にはならないことがわかる。

【0051】そこで、水晶と同じ複屈折作用を有する材料として知られるリチウムナイオベート( $\text{LiNbO}_3$ )を複屈折板11および12の材料として用いる場合を考える。リチウムナイオベートの異常光屈折率 $n_e$ および正常光屈折率 $n_o$ は、それぞれ、 $n_e=2.2238$ 、 $n_o=2.3132(=n_{1b})$ である。この複屈折板11および12の材料としてリチウムナイオベートを用いたときの厚さを $t_{1b}$ とすれば、 $d=12\mu\text{m}$ および上述の $n_e$ 、 $n_o$ を式(48)に代入して $t_{1b}=0.3\text{mm}$ となる。

【0052】( $n_{1b}$ 、 $t_{1b}$ )の座標は、図6のグラフにおいて点NBの位置となる。点NBは曲線Gよりも下の領域にあり、焦点ずれが余裕をもって許容値内に収まることわかる。

【0053】次に、評価基準を厳しく取り、 $K=0.25$ 、 $B=1.5$ としたときのグラフを図7に示す。この評価基準では、複屈折板11および12の材料としてリチウムナイオベートを用いた場合の点NBも曲線G'の上側の領域に位置し、厳しい評価基準では焦点ずれ量が許容値以下ではなくなる。この場合には、図7において点NAで表されるチリ硝石( $\text{NaNO}_3$ 、 $n_e=1.34$ 、 $n_o=1.60$ )や点TIで表されるルチル( $\text{TiO}_2$ 、 $n_e=2.9$ 、 $n_o=2.61$ )などを複屈折板11および12の材料として使用すれば許容値以下に

【0054】このような評価基準のレベル設定は、KとBの値の選択、そして装着可能な撮影レンズのF値や射出瞳位置の位置、さらにはどの程度の像高までピントの合った画像を保证するかによって決まる。F値の選択は、レンズ交換のできないカメラであれば当然そのレンズの開放F値ということになるし、レンズ交換式のカメラであれば、装着される可能性のあるレンズのうち最も明るい開放F値のレンズの開放F値とするのが常識的な選択である。射出瞳の位置についても同様である。また、KおよびBの設定は、前述した設定値の範囲内で、この空間周波数フィルタが組み込まれる電子カメラの全体的な目標性能のレベル等から設定することとなる。例えば、使用可能な交換レンズのラインナップ中に開放F値が1.4のレンズがあって、そのレンズの使用が予想されるならば、当然その開放F値に見合う目標性能を設定する必要がある。図8に、 $K=0.33$ 、 $B=3$ において $F_{no}=1.4$ とし、複屈折板11および12の材料としてリチウムナイオベートを用いた場合(NB)の評価結果を示す。

【0055】以上では、撮像素子35の画素が縦・横の両方向に同じ配列ピッチで配列された、いわゆる正方面素配列の撮像素子と本発明に係る空間周波数フィルタSFとを組み合わせる例について説明した。しかし、撮像素子35は必ずしも正方面素配列である必要はない。撮像素子35が正方面素配列のものでない場合、縦・横方向の配列ピッチに応じて2枚の複屈折板11および12による像の分離量を相異なるものとする必要がある。このような場合には、同じ材料で2枚の複屈折板を構成し、厚みを相異なるものとする方法と、2枚の複屈折板を同じ厚みで屈折率の相異なる材料で構成する方法と、2枚の複屈折板の厚みおよび屈折率を相異なるものとする方法とがある。

【0056】同じ材料で2枚の複屈折板を構成し、これら2枚の複屈折板の厚みを相異なるものとする例を図9に示す。図9において、撮影レンズ10と撮像素子35Aとの間に配設される空間周波数フィルタSFAを構成する2枚の複屈折板11Aおよび12Aの厚みをそれぞれ $t_{11}$ 、 $t_{12}$ とすると、式(57)に相当する条件式は以下の式(65)で示されるようになる。

【数15】

25  
【数15】

26

$$t_{11} + t_{12} \leq C1 \times \frac{n_1}{Y(n_1)} \quad \dots \text{式(65)}$$

ここに、

$$Y(n_1) = 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_1} \quad \dots \text{式(66)}$$

$$C1 = K \times B \times d \times Fno - \left( 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_2} \right) \times \frac{t_2}{n_2} \\ = \text{const.} \quad \dots \text{式(67)}$$

$$\sin \theta_1 = \frac{\sin \phi}{n_1} \quad \dots \text{式(68)}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \phi}{n_1} \right) \quad \dots \text{式(69)}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left( \frac{n_1 \times \sin \phi}{n_2} \right) \quad \dots \text{式(70)}$$

【0057】2枚の複屈折板の厚みが相異なるものである場合、図6に相当するグラフは(n<sub>1</sub>、t<sub>11</sub>+t<sub>12</sub>)を変数として同様に描かれ、選択した複屈折材は、その屈折率n<sub>1</sub>をX座標とし、必要な像分離量から求まる厚みt<sub>11</sub>およびt<sub>12</sub>の和t<sub>11</sub>+t<sub>12</sub>をY座標とする座標位置で評価される。

【0058】2枚の複屈折板の厚みを相異なるものとするとともに、屈折率も相異なるもので構成する例を図1\*

【数16】

$$\left( 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_1} \right) \times \frac{t_{11}}{n_{11}} + \left( 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_3} \right) \times \frac{t_{12}}{n_{12}} \leq C2 \quad \dots \text{式(71)}$$

ここに、

$$C2 = K \times B \times d \times Fno - \left( 1 - \frac{\cos \phi}{\cos \theta_2} \right) \times \frac{t_2}{n_2} \\ = \text{const.} \quad \dots \text{式(72)}$$

$$\sin \theta_1 = \frac{\sin \phi}{n_{11}} \quad \dots \text{式(73)}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \phi}{n_{11}} \right) \quad \dots \text{式(74)}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left( \frac{n_{11} \times \sin \theta_1}{n_2} \right) \quad \dots \text{式(75)}$$

$$\theta_3 = \sin^{-1} \left( \frac{n_2 \times \sin \theta_2}{n_{12}} \right) \quad \dots \text{式(76)}$$

【0059】以上の実施の形態の説明においては、DS C用の空間周波数フィルタに本発明を適用する例について説明したが、ビデオカメラ等、個体撮像素子を有する他のカメラや機器等にも本発明は適用可能である。

【0060】以上の実施の形態の説明では、撮影レンズ10と撮像素子との間に配設されるのは空間周波数フィ

\*0に示す。図10において、撮影レンズ10と撮像素子35Aとの間に配設される空間周波数フィルタSFBを構成する2枚の複屈折板11Bおよび12Bそれぞれの厚さをt<sub>11</sub>、t<sub>12</sub>、屈折率をn<sub>11</sub>、n<sub>12</sub>とすると、式(57)に相当する条件式は以下の式(71)で示されるようになる。

【数16】

ルタのみである場合を例にとって説明したが、赤外カットフィルタが上記空間周波数フィルタとともに配設されるものであってもよい。この場合、赤外カットフィルタの厚みによる焦点ずれの影響を考慮する必要があるのは言うまでもない。

【0061】また、以上の実施の形態の説明において、

図1に示される正画面素配列の撮像素子35とともに用いられる空間周波数フィルタSFを構成する第1複屈折板11および第2複屈折板12の厚み $t_1$ および屈折率 $n_1$ は、互いに等しいものであった。しかし、本発明はこの例に限られない。つまり、1枚の複屈折板によって入射光線が二つの空間的に離れた光線に分離される際の分離距離は、複屈折板の厚みと屈折率との積によって決まるものである。したがって、撮像素子が正画面素配列のものであっても2枚の複屈折板の厚みおよび屈折率を互いに異なるものとする組み合わせであってもよい。また、第1および第2の複屈折板によって光を分離する方向の相対角度は $90^\circ$ に限られるものではなく、分離パターンにより $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 等、種々の角度に設定する場合もある。

#### 【0062】

【発明の効果】以上に説明したように、

(1) 請求項1に記載の発明によれば、空間周波数フィルタに用いる2枚の複屈折板の屈折率と厚みが同じ場合において、その屈折率および厚みの組み合わせを、所定の条件を満足するように選択することで、画面対角での焦点ずれ量を減じ、画面周辺部での画質低下を抑制できる。

(2) 請求項2に記載の発明によれば、空間周波数フィルタに用いる2枚の複屈折板の屈折率および厚さのうち、厚さのみが異なる場合においてその厚さの和および屈折率の組み合わせを、所定の条件を満足するように選択することで、画面対角での焦点ずれ量を減じることができる。

(3) 請求項3に記載の発明によれば、空間周波数フィルタに用いる2枚の複屈折板の屈折率と厚さの双方が異なる場合において、その屈折率および厚さ双方の組み合わせを、所定の条件を満足するように選択することで、画面対角での焦点ずれ量を減じることができる。

【図面の簡単な説明】

\*

\*【図1】 本発明の実施の形態に係る空間周波数フィルタの概略的構成を示す図であり、2枚の複屈折板の厚みおよび屈折率が互いに等しい組み合わせ例を説明する図である。

【図2】 撮影レンズより射出された光線が複屈折板により4つの光線に分離される様子を説明する図。

【図3】 空間周波数フィルタによって焦点ずれが生じる様子を説明する図。

【図4】 空間周波数フィルタに入射する光線の入射角と焦点ずれ量との関係を説明する図。

【図5】 空間周波数フィルタに入射する光線の入射角と焦点ずれ量との関係を説明する図。

【図6】 複屈折板の屈折率および厚みの組み合わせを選択する方法の一例を説明する図。

【図7】 複屈折板の屈折率および厚みの組み合わせを選択する方法の別の一例を説明する図。

【図8】 複屈折板の屈折率および厚みの組み合わせを選択する方法のさらに別の一例を説明する図。

【図9】 本発明の実施の形態に係る空間周波数フィルタの概略的構成を示す図であり、2枚の複屈折板の厚みが互いに異なり、屈折率が互いに等しい組み合わせの例を説明する図である。

【図10】 本発明の実施の形態に係る空間周波数フィルタの概略的構成を示す図であり、2枚の複屈折板の厚みおよび屈折率が互いに異なる組み合わせの例を説明する図である。

#### 【符号の説明】

10 撮影レンズ

11、12、11A、12A、11B、12B 複屈折板

13 位相差板

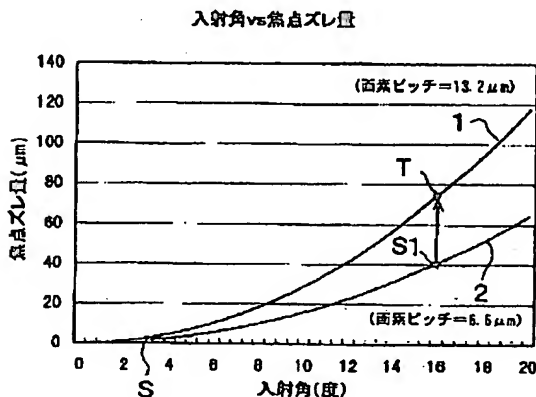
35 撮像素子

35p 撮像面

SF 空間周波数フィルタ

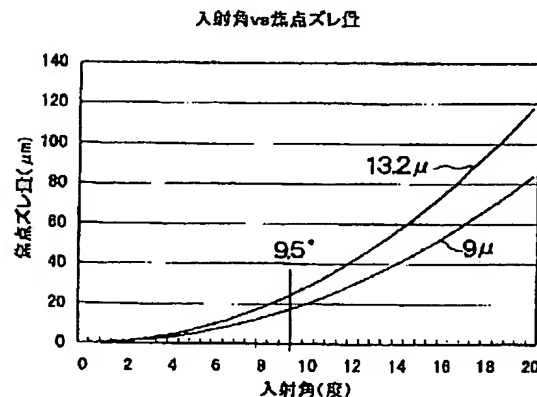
【図4】

【図4】



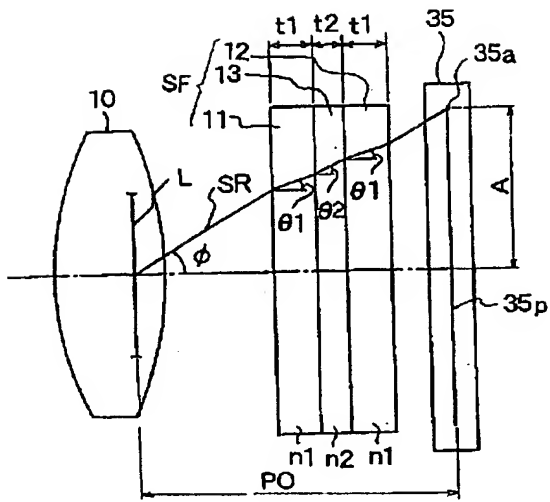
【図5】

【図5】



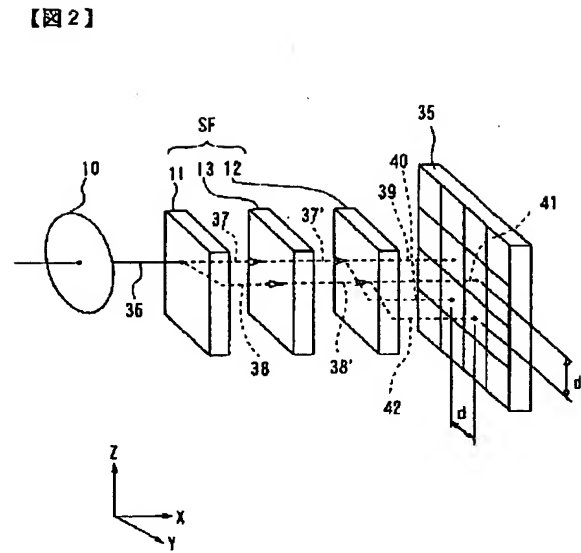


【図1】



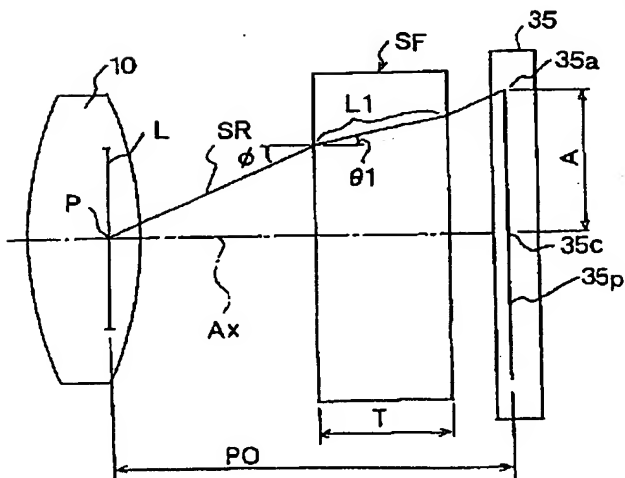
【図1】

【図2】



【図2】

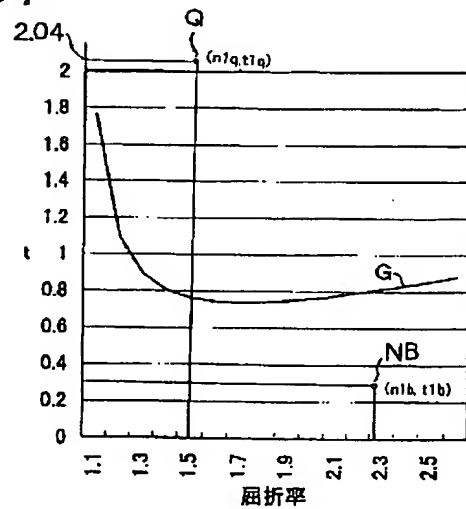
【図3】



【図3】

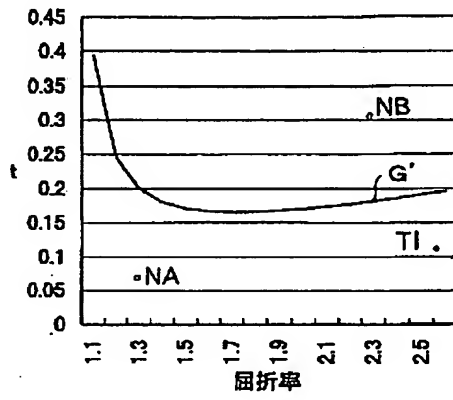
【図6】

【図6】



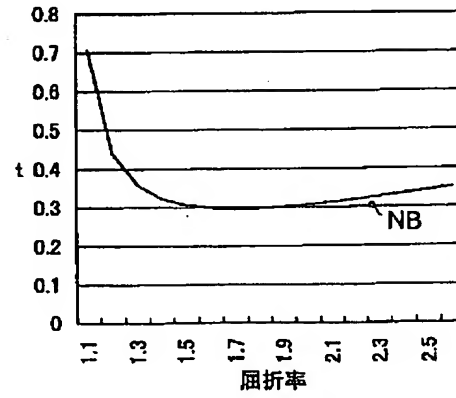
【図7】

【図7】



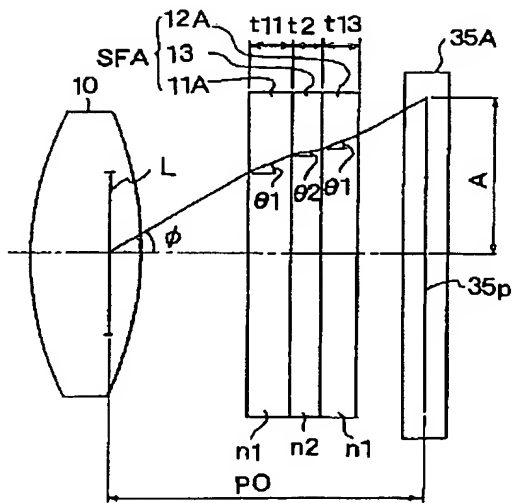
【図8】

【図8】



【図9】

【図9】



【図10】

【図10】

